

UPR 5 Systèmes Canniers (CIRAD CA)
Pôle REAGIR CIRAD Réunion

**Présentation et exemples d'utilisation de FIVE-CoRe, un
modèle d'estimation des consommations en eau d'irrigation
en fonction des besoins et des contraintes**

Jean-Louis Chopart, Mickaël Mézino, Lionel Le Mézo



Avril 2007

CIRAD-CA station Ligne Paradis, 7, chemin de l'IRAT, 97410, St Pierre La Réunion.
chopart@cirad

Présentation et exemples d'utilisation de FIVE-CoRe, un modèle d'estimation des consommations en eau d'irrigation en fonction des besoins et des contraintes

Résumé

Pour des raisons économiques et écologiques, il est nécessaire d'utiliser l'eau d'irrigation avec parcimonie. Pour diagnostiquer d'éventuelles surconsommations dans les exploitations agricoles ou les périmètres irrigués, il faut connaître les consommations optimales en eau d'irrigation (COI) au niveau d'entités homogènes en tenant compte des besoins des cultures, mais aussi des principales contraintes pouvant empêcher l'agriculteur d'apporter la dose la plus appropriée au meilleur moment. Pour estimer ces COI, on a élaboré un modèle simple travaillant au pas de temps de un jour, tenant compte des principaux déterminants des besoins en irrigation et de quelques contraintes techniques liées à cette irrigation. Ce modèle, nommé FIVE-CoRe (Farm Irrigation Volume Estimation according to Constraints and Requirements) est fondé sur le couplage d'un modèle de bilan hydrique et d'une modélisation des règles de décision en irrigation. Pour que l'outil soit fonctionnel, le nombre de variables d'entrée est faible et les sorties peuvent être automatiquement synthétisées.

FIVE CoRe a 5 principales finalités : (i) estimation des consommations optimisées en irrigations, (ii) besoins en eau d'irrigation dans des nouveaux dispositifs (iii) analyse de l'impact de changements techniques (iv) comparaison des consommations en irrigation par aspersion et en goutte à goutte (v) analyses de sensibilité des COI aux paramètres d'entrée du modèle.

FIVE-CoRe permet ainsi de quantifier les écarts entre les pratiques réelles et optimisées, donc d'évaluer l'efficacité de l'irrigation. Il permet aussi d'estimer les volumes optimaux d'eau d'irrigation dans différents scénarios et stratégies en irrigation.

FIVE-CoRe a été utilisé à la Réunion pendant trois ans sur une surface cultivée en canne à sucre d'environ 3000 ha découpée en 26 micro-zones (Chopart et al. 2006). Les cumuls pour une campagne agricole (un an) des COI modélisées ont été, en moyenne et en grande majorité, proches des consommations réelles (CR). Ceci montre l'aptitude du modèle à estimer les COI malgré sa simplicité conceptuelle et une variabilité de 1 à 3 des cumuls annuels des COI des différentes micro-zones. Une autre étude a permis d'estimer les effets d'arrêts temporaires dans l'approvisionnement en eau d'irrigation, sur le déficit en eau et sur le taux de satisfaction des besoins en eau des cultures, par rapport à une situation sans coupure. A la Réunion, où les surfaces des exploitations sont très faibles, l'étude a été menée sur des regroupements de plusieurs exploitations, mais l'outil a été conçu pour être utilisable aussi bien à l'échelle de fermes individuelles avec une ou plusieurs cultures, qu'au niveau de périmètres agro-industriels.

SOMMAIRE

1. PRESENTATION ET CARACTERISTIQUES DU MODELE 4

2. EXEMPLES DE PREMIERS RESULTATS 13

3. DISCUSSION CONCLUSION..... 20

INTRODUCTION

A la Réunion, le climat et le sol sont particulièrement variables dans l'espace et le temps et les exploitations cannières sont petites (environ 5 ha). Ceci rend difficile les conseils en irrigation (Chopart et al., 2006) et l'estimation des consommations optimisées en irrigation (COI). L'eau d'irrigation étant de plus en plus rare, les décideurs ont besoin de savoir si les irrigations chez les agriculteurs correspondent aux besoins des cultures, pour des raisons économiques et environnementales. Pour diagnostiquer d'éventuelles surconsommations dans les exploitations agricoles ou les périmètres irrigués, il faut connaître les COI au niveau d'entités homogènes en tenant compte des besoins des cultures, mais aussi des principales contraintes pouvant empêcher l'agriculteur d'apporter la dose la plus appropriée au meilleur moment. Une question posée également par les décideurs locaux a été de définir l'effet de coupures momentanées dans l'approvisionnement en eau d'irrigation sur la baisse du niveau d'alimentation par rapport à une situation sans coupure.

Il n'existait pas, à notre connaissance, d'outil permettant de faire de façon simple et rapide ce type d'études, c'est-à-dire de prévision des COI tenant compte des contraintes pouvant limiter les consommations par rapport aux besoins de la culture. C'est pourquoi, nous avons développé un outil de simulation simple visant à estimer ces COI au niveau d'entités spatiales (exploitations agricoles par exemple) comprenant plusieurs champs ayant des caractéristiques variées (espèces cultivées, date de plantation, etc.). Cet outil a pour objectif de tenir compte des facteurs principaux qui déterminent les besoins en irrigation et des principaux facteurs techniques et physiques qui peuvent conduire les agriculteurs à limiter les apports (par contrainte ou par choix).

Ce document décrit les principales caractéristiques de l'outil FIVE-CoRe et, brièvement, les premiers résultats obtenus avec cet outil à la Réunion.

1. PRESENTATION ET CARACTERISTIQUES DU MODELE

1.1 Principes généraux et concepts

L'acronyme FIVE CoRe : Farm Irrigation Volume Estimates according to CONstraints and REquirement) affiche les finalités du produit : Estimation des volumes d'eau d'irrigation consommée et optimisée à l'échelle de surface de type exploitation en tenant compte des besoins des cultures et des contraintes pouvant limiter les apports d'eau.

FIVE CoRe est donc un logiciel d'estimation des besoins théoriques en eau d'irrigation (COI) à l'échelle d'une parcelle, d'une exploitation ou d'un ensemble de parcelles.

Le jour où l'irrigation est possible, la dose est calculée par des algorithmes faisant appel à différents paramètres (fig. 1) : stock hydrique du jour estimé par modélisation du bilan hydrique, pluies, besoins en eau de la culture, débit disponible, contraintes diverses, périodicité des apports d'eau, niveaux haut (TR) et bas (SD) de remplissage du réservoir en eau du sol (RUR) (fig.2). Une modélisation du bilan hydrique est réalisée chaque jour sur l'ensemble de la période de simulation. Les COI sont calculées par fraction de parcelle et synthétisées en fonction de la demande. Dans FIVE Core, le modèle de bilan hydrique retenu est PROBE (Chopart et Siband, 1988; Chopart et Vauclin, 1990). Selon la classification proposée par Addiscott et Wagenet (1985), il s'agit d'un modèle fonctionnel, déterministe, de type capacitif. Il travaille à un pas de temps journalier.

Les modules de détermination des doses d'irrigation à apporter compte tenu des contraintes sont en partie repris de l'outil de conseil en irrigation OSIRI-Run récemment proposé (Chopart et al. 2007).

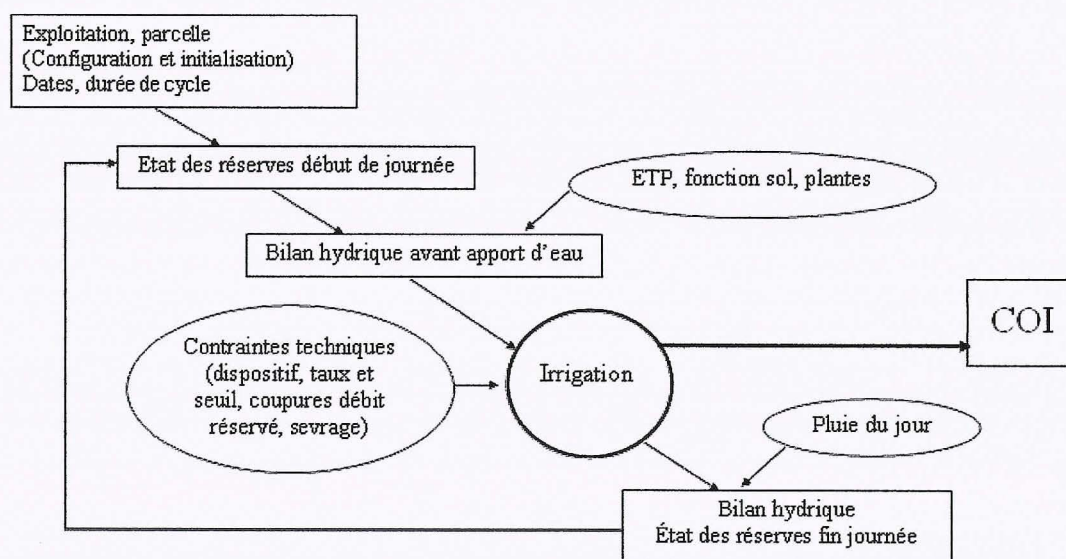


Figure 1. Organigramme simplifié de FIVE CORE.

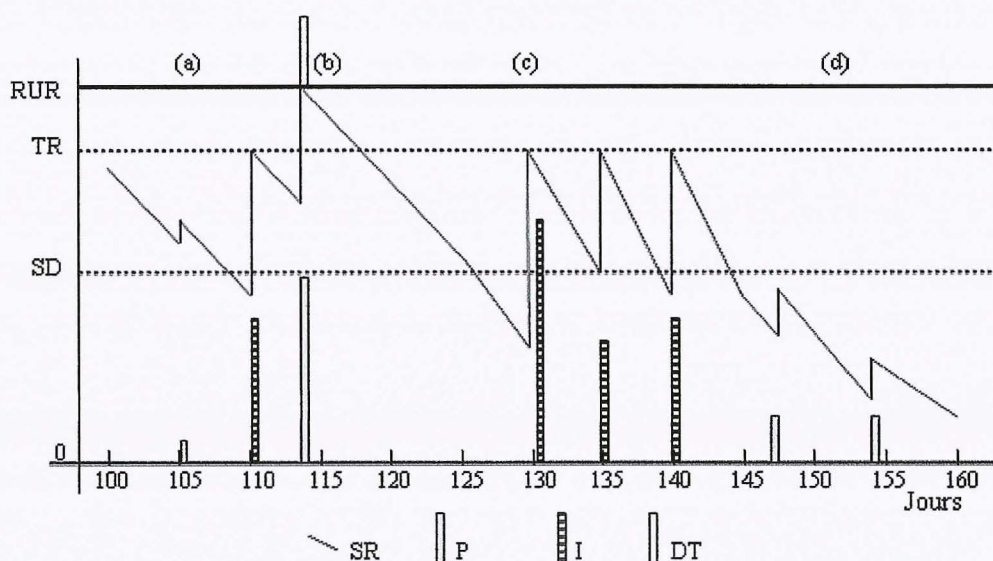


Figure 2. Exemple simplifié de la fluctuation du stock d'eau disponible (SR) dans le sol, modélisée dans FIVE CORE, avec RUR : réserve maximale d'eau utile du sol entre la surface et la cote de drainage en mm. Entre les deux niveau extrêmes (0 et RUR) différents niveaux sont définis : le taux de remplissage par un irrigation (TR), le seuil de déclenchement d'une irrigation (SD), toutes ces valeurs sont en mm. Plusieurs situations contrastés sont représentés (a) : petites pluie et irrigations, (b) : pluie produisant du drainage et un arrêt des irrigations, (c) : période sans pluie, (d) assèchement du profil en fin de cycle.

1.2 Mode d'utilisation de l'outil

Dans la page d'accueil du logiciel FIVE CORE, trois fonctions sont proposées: (i) simulation directe, (ii) simulation sur dossier, (iii) localisation des répertoires de travail. Une aide contextuelle et un guide d'utilisateur sont disponibles. Le maniement de l'outil ne demande que des notions de base en bureautique, en particulier d'Excel® pour la visualisation ou le traitement des sorties chiffrées.

Dans la pratique, l'utilisateur, en choisissant la procédure de simulation directe, commence par créer un nouveau périmètre puis une nouvelle exploitation. 5 étapes dans la configuration de l'exploitation :

- le nombre de parcelles
- choisir un fichier météorologique caractéristique de l'exploitation. Le fichier est journalier. Il peut être nécessaire de sélectionner un fichier météo statistique qui permettra de compléter les données manquantes du fichier journalier si besoin.
- Déterminer si les simulations se feront en condition pluviale ou irriguée
- En condition irriguée, déterminer les contraintes sur la ressource en eau :
- un calendrier des coupures d'eau et de débit réservé, le débit fourni à la borne.

La confirmation de cette configuration de l'exploitation crée le nombre demandé de parcelles et invite l'utilisateur à compléter les paramètres :

- parcellaires (surface)
- calendaires (date de début et de fin de simulation)
- culturaux (date de début et de fin de cycle, coefficient cultural, sevrage, croissance racinaire)
- liés au sol (RUR, cote de drainage, front d'humectation, front racinaire, âge de fin de croissance des racines, état de la RUR au début de la simulation)
- liés à l'irrigation (fréquence, taux de remplissage, seuil de déclenchement, efficience, type d'irrigation).

La possibilité de travailler en régime uniquement pluvial permet, en sortant un peu de l'objet principal de l'outil, de modéliser le bilan hydrique et le niveau d'alimentation hydrique des cultures.

1.3 Contenu des différents modules

1.3.1 Fichier météorologique.

FIVE CoRe utilise des données climatiques journalières. L'utilisateur fournit un fichier couvrant toute la période de simulation. En cas de données journalières manquantes, il est nécessaire d'associer un fichier météo statistique. Ce fichier est décadaire ; il est composé de la façon suivante :

- n° de la décade
- cumul de pluie pour la décade en mm
- valeur journalière moyenne de l'ETP en mm
- valeur journalière moyenne de la température moyenne en °C
- nombre de jours de pluie dans la décade

Le remplacement de valeurs journalières absentes s'effectue de la façon suivante :

- pour l'ETP et la température, la moyenne décadaire est affectée aux journées manquantes de la décade correspondante
- pour la pluie, le cumul décadaire des pluies est divisé par le nombre de pluies ; cette valeur est affectée aux journées manquantes de la décade correspondante.

Le bouton « Vérifier » permet de contrôler la présence de toutes les données climatiques journalières entre les dates de début et de fin du fichier sélectionné. En cas de données manquantes détectées et remplacées, un fichier journal, du même nom que le fichier en

cours, est créé recensant toutes les données remplacées.

1.3.2 Définition des échelles de temps et d'espace et des paramètres d'entrée du bilan hydrique

Pour faire fonctionner le modèle de bilan hydrique et pour calculer des doses d'irrigation, il faut des informations communes à l'ensemble des parcelles (climat) ou spécifiques à chaque parcelle.

Un périmètre est constitué de une ou plusieurs exploitations. Une exploitation est constituée de une ou plusieurs parcelles de même climat. Chaque parcelle peut être constituée de cultures à caractéristiques différentes (espèces, date de plantation, durée de cycle, évolution de K_c , etc.). Une parcelle est subdivisée en autant de fractions de parcelles qu'il y a de jours dans le tour d'eau. Chaque fraction est irriguée en un jour, toute la parcelle est donc irriguée au terme du tour d'eau. La modélisation du bilan hydrique se fait au niveau de la fraction de parcelle irriguée en un jour. Les résultats sont ensuite agrégés au niveau de la parcelle au pas de temps souhaité.

Les données climatiques statistiques sont introduites et stockées en valeurs décennales. Elles sont utilisées dans le modèle en valeurs journalières.

Le système d'irrigation de chaque parcelle de surface (S) est caractérisé par: (i) le type de matériel (aspersion ou goutte à goutte) et leurs caractéristiques, (ii) l'efficience de l'irrigation (IE), estimée à partir d'études locales, (iii) le débit d'eau disponible à l'entrée de la parcelle (DH , m^3/h) et le pourcentage de débit réservé ($\% DH$), (iv) le nombre de jours entiers entre deux irrigations possibles (DTE).

Les informations liées à l'hydrodynamique du sol sont la cote de drainage (ZD , cm), la réserve maximale en eau utile entre la surface et ZD (RU , mm/cm) et le coefficient d'évaporation sol nu par rapport à l'ETP (KS). Ce coefficient KS est calculé automatiquement par FIVE-CoRe en fonction du nombre de jours après une pluie ou une irrigation (cf. équation 10). En cas de besoin, cette fonction peut être modifiée à la demande par une modification du programme informatique. La réserve maximale en eau utile cumulée entre la surface et la cote de drainage (RUR , mm) se déduit de RU et de ZD . Pour initialiser le bilan hydrique, on définit une profondeur de sol humide (front d'humectation) et un stock d'eau utile au début de la simulation.

Les informations relatives à la culture sont :

- les dates de début de cycle et de fin de cycle
- le coefficient cultural (K_c). Pour les valeurs de K_c et leur évolution au cours du cycle, le logiciel propose plusieurs modes d'estimation dont celui de la FAO (Doorenbos and Pruitt, 1977).
- le système racinaire : profondeur du front racinaire au début des calculs (ZR_0),

vitesse de progression (VR) et âge d'arrêt de croissance. Ces dernières informations permettent le calcul de la RUR. Cette possibilité de faire évoluer dans le temps la réserve en eau utile du sol à travers la profondeur du front racinaire, permet de rendre l'outil opérationnel pour des cannes dans l'année de plantation et pour des espèces végétales semées.

Les irrigations maintiennent le stock d'eau du sol entre deux limites haute et basse (Fig. 2). Le niveau haut, à ne pas dépasser par l'irrigation, est le taux de remplissage (TR, % de RUR). Le stock d'eau doit rester en dessus d'un niveau choisi (SD, % de RUR).

Le front d'humectation est l'épaisseur de sol plus ou moins humide entre la surface et la cote de drainage permettant la croissance des racines. Elle constitue à la fois la limite de la réserve d'eau potentiellement disponible pour la plante, s'il y a des racines, et la profondeur maximale de croissance du front racinaire.

1.3.3 Le modèle de bilan hydrique journalier PROBE

Dans le modèle PROBE, le sol est assimilé à deux réservoirs d'eau. Le premier, de nature statique, est caractérisé par une réserve maximale en eau utile (RUR), entre la surface et la cote de drainage (ZD). Le second (RU ZR_t) dépend de la profondeur du front racinaire (ZR_t). Ce front de profondeur initiale ZR₀, évolue dans le temps jour par jour (j) à une vitesse VR jusqu'à ce que ZR_j = ZD, à condition que ZR_j n'atteigne pas le front d'humectation. Ce réservoir a une réserve maximale en eau utile obtenue par : RU ZR_t = RU * ZR_t. Quand ZR_t = ZD, les deux réservoirs sont confondus (Fig.2).

La profondeur du système racinaire (ZR_j) ne peut être plus grande que celle du front d'humectation (ZHF_j) calculé par :

$$ZHF_j = SR_j + (P_j + I_j) ZD/RUR \quad [1]$$

L'intégration de la loi de la conservation de la masse entre la surface et les profondeurs ZR_t et ZD conduit à :

$$SR_{j+1} = SR_j + P_j + I_j + RUR sr_{j+1} - RUR sr_j - DR_j - ETR_j \quad [2]$$

et

$$ST_{j+1} = ST_j + P_j + I_j - DT_j - ETR_j \quad [3]$$

où ST_j et SR_j sont respectivement les stocks d'eau utile (mm) totaux et dans la zone racinaire, au début du jour j. Durant le jour j, P_j et I_j sont les hauteurs de pluie et d'irrigation, DR_j et DT (mm) sont les pertes en dessous de ZR_j et ZD respectivement et

ETR_j (mm) est l'évapotranspiration réelle. Les équations [2] et [3] supposent un ruissellement négligeable. Les stocks d'eau doivent satisfaire les contraintes suivantes :

$$0 < SR_j < RUR_{srj} \text{ et } 0 < ST_j < RUM \quad [4]$$

L'estimation du drainage est fondée sur le remplissage des deux réservoirs jusqu'à leur valeur maximale (Fig.2). Ceci conduit aux algorithmes [5] et [6] suivants :

(i) pour le réservoir racinaire dépendant du temps :

$$\text{si } SR_j + P_j + I_j + RUR_{srj+1} - RUR_{srj} < RUR_{srj} \quad \text{alors } DR_j = 0 \quad [5a]$$

$$\text{sinon : } DR_j = SR_j + P_j + I_j - RUR_{srj} \quad [5b]$$

(ii) pour le réservoir statique (DT_j) :

$$\text{si } ST_j + P_j + I_j < RUM, \text{ alors } DT_j = 0 \quad [6a]$$

sinon le drainage à la base du profil est calculé par :

$$DT_j = ST_j + R_j + I_j - RUM \quad [6b]$$

L' ETR_j est estimée à partir de la fonction empirique d'Eagleman (1971). Fondée sur une analyse de données issues d'une large gamme de conditions climatiques et de cultures, elle dépend de l'évapotranspiration maximale ETM_j , en mm et de l'humidité relative du sol (HR_j) :

$$ETR_j = a + \beta HR_j + ? (HR_j)^2 + d (HR_j)^3 \quad [7]$$

Les coefficients a , β , $?$ et d sont des fonctions de ETM_j (Eagleman, 1971; Chopart et Vauclin, 1990).

L'humidité relative du sol est définie par :

$$HR_j = (SR_j + P_j + I_j - DR_j) / RUR_{srj} \quad [8]$$

D'après les Eqs. [4] et [5], elle varie de 0 à 1.

L'évapotranspiration maximale de la culture est définie par :

$$ETM_j = \max (KC_j ; KS_j) * ETP_j \quad [9]$$

où ETP_j est l'évapotranspiration potentielle, KC et KS , les coefficients culturaux et d'évaporation sol nu.

Dans le calcul du bilan hydrique, le coefficient cultural KC peut être décrit par différentes méthodes. Pour les KC de type FAO, escalier et somme de températures, il évolue normalement en fonction des paramètres saisis.

A côté du coefficient cultural, le modèle de bilan hydrique fait appel à un second coefficient décrivant l'évaporation du sol nu (KS) comme une fraction de l' ETP . Ce coefficient diminue en fonction du nombre de jours sans pluie ou sans irrigation par aspersion. Ce coefficient permet de prendre en compte une ETM plus forte après un épisode humide (pluie ou irrigation par aspersion) ; il décroît très rapidement ensuite. Il est calculé quotidiennement avec la formule :

$$KS : = b \times (e^{-A \times J}) \quad [10]$$

Avec

$A : 0.76$

b : coefficient d'atténuation de la pluie ou de l'irrigation fixé ici à 0.7

J : nombre de jours après l'irrigation ou après la pluie

Pour un climat (P , I , ETP) d'un jour j , et SR_j et ST_j étant connus le matin de ce jour, les Eqs.[5] et [6] calculent le drainage à la base des deux réservoirs. Les équations. [7], [8] et [9] donnent alors l' ETR_j . Les réserves d'eau en fin de jour, SR_{j+1} et ST_{j+1} , sont obtenues par les Eqs.[2] et [3] avec la contrainte [4]. En plus des conditions initiales SR_0 , ST_0 , ZR_0 , le modèle nécessite la connaissance des seules grandeurs ZD , RU , KS_j pour le sol, ZR_j , et KC_j pour la culture et P_j , I_j et ETP_j pour le climat.

Plus de détails sur le fonctionnement du modèle figurent dans Chopart et Siband (1988) et dans Chopart et Vauclin (1990).

Le modèle est simple et robuste. Il ne nécessite que des variables d'entrée facilement accessibles sur le terrain ou, à défaut, dans la littérature. En revanche, il ne peut simuler ni les remontées capillaires ni le ruissellement. Le modèle PROBE a été validé en milieu tropical (Chopart et Vauclin, 1990, Chopart *et al.* 1991), peu différent de celui de la Réunion. Il a également été utilisé pour des applications agronomiques (Chopart *et al.* 1991 ; Chopart et Kone, 1994). C'est également ce modèle de bilan hydrique qui est utilisé dans le conseil en irrigation OSIRI (Chopart *et al.* 2007).

1.3.4 Calcul des doses d'irrigation à apporter

Une parcelle irriguée en N jour(s) sera divisée en N sous parcelles (N = nombre de jours du tour d'eau). Ces sous parcelles constitueront l'unité de base pour la prise de décision d'irriguer ou non. Elles seront irriguées à tour de rôle, toujours dans le même ordre (de 1 à n) à raison d'une par jour jusqu'au tour d'eau suivant.

La décision d'irrigation et le calcul de la dose sont pris au niveau des sous parcelles en fonction :

- de la possibilité ou non d'irriguer (jour du tour d'eau, coupure),
- de l'existence d'une pluie ou non la veille de l'irrigation,
- du niveau de la réserve en eau utile en début de journée.

1) la contrainte du tour d'eau

On commence par se poser la question :

Est-ce le jour où dans le tour d'eau l'irrigation est possible, en vérifiant que l'on n'est pas en période de coupure d'eau ?

- si non, il n'y a pas d'irrigation sur cette sous parcelle et on passe à l'examen de la suivante.
- si oui, on passe au point 2.

2) condition d'existence d'une pluie ou d'une coupure

Y a-t-il eu, la veille, une pluie dont la hauteur a fait remonter le niveau de l'eau disponible au-dessus du seuil bas (SD, fig.2) après avoir retiré l'ETM du jour ?

- si oui, on arrête l'irrigation de la sous parcelle et on suspend celle-ci jusqu'à ce que le niveau des réserves corresponde au seuil bas (SD, cf. par. 11) + l'ETM du jour. On reprend alors l'irrigation au niveau de la sous parcelle qui aurait dû être irriguée au moment de l'arrêt ; cette sous parcelle est forcément la plus sèche.
- si non, on irrigue. (cf. point 3)

3) dose d'irrigation en fonction du niveau de déficit hydrique

Si on peut irriguer (cf. point 1) et si l'état des réserves sans pluie ou après une pluie (cf. point 2) l'exige, la dose à apporter sur la sous parcelle va, si possible, permettre de combler le déficit jusqu'au seuil haut. (TR, fig. 2 et équations de 11 à 14). La dose à apporter est calculée en mm.

Le module de bilan hydrique (Eq. [1 à 8]) permet d'estimer chaque jour le niveau des réserves en eau utile SR_j . Le jour où une irrigation est possible, la décision d'irriguer est prise suivant des modalités proches de celles de l'outil de conseil irrigation OSIRI (Chopart et al. 2005, Chopart et al. 2007)

La hauteur d'irrigation (I_j) ainsi calculée, le logiciel effectue un bilan hydrique pour chaque fraction de parcelle. Le processus se répète jusqu'à la date de fin de cycle.

En fin de cycle, il est souhaitable de faire subir à la canne à sucre un stress hydrique maîtrisé pour faciliter l'enrichissement en sucre (Humbert, 1968). Cela peut aussi concerner d'autres cultures pour faciliter la maturation, ou la lutte contre les parasites. On peut définir dans FIVE CoRe un nombre de jours d'arrêt d'irrigation avant la récolte. Ce nombre de jours est défini par l'utilisateur en fonction de ses connaissances locales. Il peut aussi être modélisé en utilisant le logiciel OSIRI (Chopart et al., 2007) si on dispose de données statistiques sur le climat local.

1.4 Caractéristiques techniques de FIVE-CoRe

L'outil se présente sous forme d'un exécutable. Il occupe un espace mémoire de 4 Mo, et nécessite 256 Mo de mémoire vive ou davantage ce qui le rend facilement diffusable et copiable. Les données sont stockées en fichiers texte, exportables vers les tableurs usuels.

2. EXEMPLES DE PREMIERS RESULTATS

L'outil FIVE-CoRe a été utilisé à la Réunion dans deux études, l'une portant sur l'identification des écarts entre des consommations réelles en eau d'irrigation mesurées et des consommations optimisées calculées par FIVE CoRe, l'autre sur les effets de coupures d'eau d'irrigation subies par les agriculteurs au début de l'année 2007 sur la baisse dans le niveau d'alimentation en eau des cultures de canne à sucre. Les résultats de ces deux études ont déjà fait l'objet de documents scientifiques (Chopart et al., 2006, Le Mézo et al., 2007). On ne reprendra donc ici que les principaux éléments et conclusions.

2.1 Estimations des consommations optimisées en irrigation (COI) et comparaison avec des consommations réelles dans les périmètres du sud de la Réunion pendant 3 ans (1998-2000). Test de validation de FIVE-CoRe.

2.1.1 Objectif et méthodologie

L'étude a porté sur les exploitations irriguées en culture de canne à sucre de 500 exploitants sur une surface totale de 2500 ha dans le sud de la Réunion. Une caractérisation du climat et des sols a permis d'identifier 22 micro-zones homogènes sur le plan du climat et du sol. Les COI ont été estimés pendant 3 cycles de culture (3 ans) avec FIVE-CoRe. On a retenu, dans le modèle, trois dates de récolte par exploitation pendant la période de coupe (5 mois) et tenu compte des débits d'eau d'irrigation disponibles. Les consommations réelles des agriculteurs (CR) ont été mesurées (compteur d'eau) chaque semestre. On a analysé les écarts entre les besoins modélisés (COI) et les consommations réelles (CR) par campagne.

2.1.2 Résultats et discussion

Les volumes d'eau irrigation consommés par les agriculteurs ont fluctué de 300 % d'une micro-zone à l'autre sur une distance de 10 km (de 4000 à 12000 m³/ha/campagne). Il existe une relation entre la pluviosité totale par campagne et les CR des 22 micro-zones ($R^2 = 0.440$, $N = 66$) mais elle offre une faible capacité prédictive car la Réunion, située en zone cyclonique, peut recevoir certaines années des pluies journalières importantes (de plus de 500 mm/j). En revanche, la régression entre les COI et les CR en m³/ha/campagne (Fig. 3) est meilleure ($R^2 = 0.547$, $N = 66$). La droite de régression ($CR = 0.952 \text{ COI} - 790$) est proche de $CR = COI$ (Fig. 3).

Les COI et les CR ont aussi été comparées avec d'autres paramètres statistiques : Root Mean Square Error et Mean Bias (voir Chopart et al. 2007). Respectivement, ces valeurs sont de 16.6% et de 363m³/ha, ce qui peut être considéré comme satisfaisant pour cette validation chez des agriculteurs avec des imprécisions sur les variables d'entrée du modèle et sur la mesure des CR.

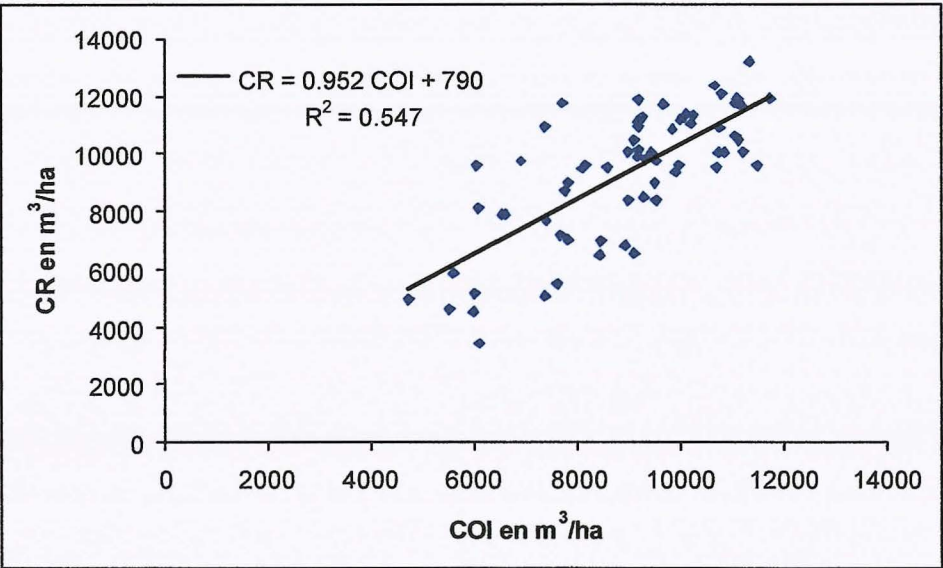


Fig 3 : Relation entre les consommations optimisées en eau d’irrigation (COI) modélisées par FIVE CoRe et Consommations réelles (CR) sur 22 micro zones du sud de l’Ile de la Réunion.

Il existe 2 micro-zones dont CR sont nettement plus fortes (+50%) ou plus faibles (-27%) que les COI (Fig.4). D’après des premières analyses, ces écarts correspondent plutôt à des pratiques non optimales des agriculteurs. Si l’on retire ces deux micro-zones, la qualité de la relation entre les COI et les CR est améliorée ($R^2 = 0.57$, $N= 60$). A l’échelle du total de la petite région irriguée étudiée (2500ha), les COI par campagne (12 mois) sont très proches des CR (tableau 1).

Tableau 1 : Consommations réelles en eau d’irrigation (CR) et optimales (COI). Consommations moyennes sur la surface d’étude (2500 ha), en m³/ha /campagne.

	CR	COI	Diff. %
Campagne 1	8727	8208	- 5.9
Campagne 2	9373	9203	- 1.8
Campagne 3	9802	9400	- 4.1

Ces différents tests montrent que : (i) la majorité des irrigants a apporté des irrigations adaptées aux besoins, même si les CR sont légèrement supérieures aux COI, (ii) FIVE-CoRe a assez bien simulé ces irrigations optimisées, sans erreur systématique marquée, même si les valeurs prédites par FIVE-CoRe l’ont été avec une certaine incertitude pour certaines micro-zones.

L’étude montre toutefois une variabilité dans les écarts entre les COI et les CR (Fig 4). Ceci va conduire, après une actualisation (période 2001-2005), à des études de terrain

ciblées sur ces endroits, pour optimiser les consommations

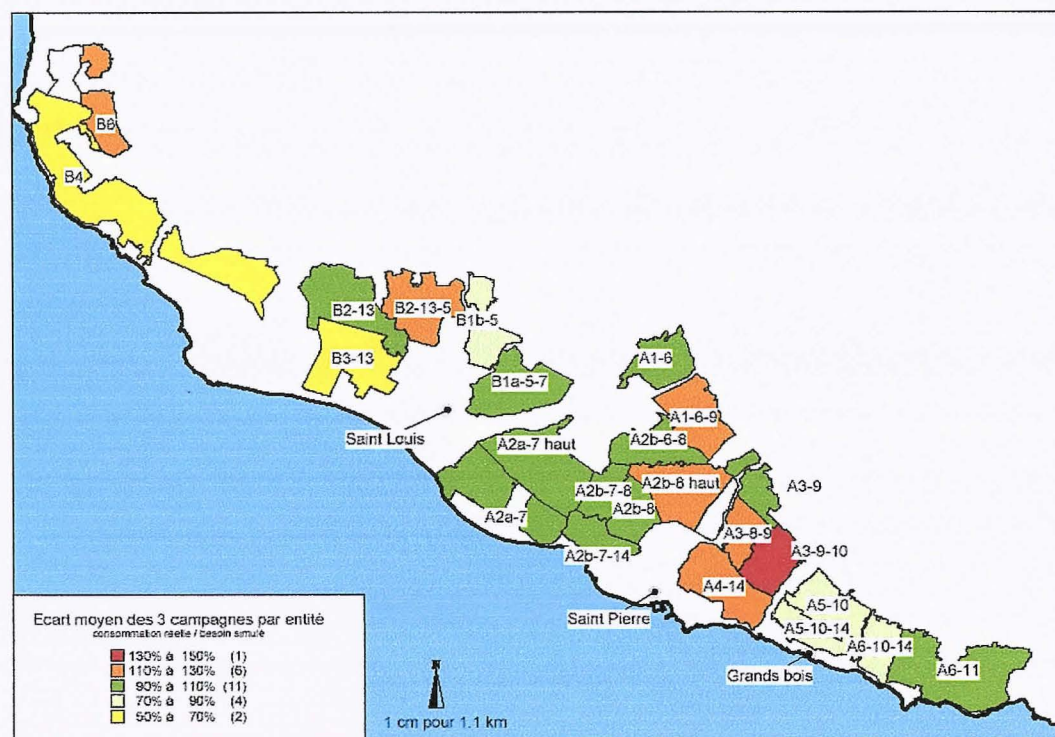


Figure 4. Ecart entre les consommations réelles (CR) et les consommations simulées (COI) dans des Bras de la Plaine et de Cilaos. Valeurs moyennes des 3 campagnes 1998, 1999 et 2000.

2.2 Etude de l'effet des arrêts de fournitures en eau sur début 2007

2.2.1 Objectifs et méthodes

Le périmètre irrigué du Bras de la Plaine a été confronté début 2007 à un régime de coupe très sévère. Le Comité de pilotage de la canne à la Réunion a demandé au Cirad de faire des estimations de l'incidence de ces coupures sur le stress hydrique de la canne à sucre pendant le mois de janvier en considérant que ces coupures vont se poursuivre pendant les mois de février et mars. Ceci doit, entre autre, permettre de faire des hypothèses sur l'incidence possible de ces trois mois de rationnement en eau sur le rendement final de la canne dans le Bras de la Plaine.

L'étude porte donc sur le cycle 2006-2007. Dans 18 micro-zones plus ou moins homogènes, FIVE-CoRe a servi à :

- calculer les volumes d'eau d'irrigation (i) qu'auraient consommés les agriculteurs s'il n'y avait pas eu de coupure, (ii) qu'ils ont utilisés en janvier et qu'ils vont utiliser en février et mars compte tenu des coupures,
- estimer le niveau de déficit hydrique de la canne pendant ces périodes,

- créer, dans chaque micro-zone, un fichier d'irrigations (doses, dates) qui tient compte des dates de coupure, des contraintes de débit, de tour d'eau etc. Ce fichier d'irrigations simulées servira à une modélisation de la croissance et de la production de la canne.

On a comme, dans l'étude précédente (Chopart et al. 2006), découpé le Bras de la Plaine en entités spatiales que l'on peut considérer comme plus ou moins homogène du point de vue du climat et du sol. Ceci a conduit à identifier 18 entités.

2.2.2 Résultats et discussions

Les coupures déjà survenues en janvier ont eu pour effet de diminuer les apports d'eau d'irrigation (tableau 2). Cette diminution va de 13 % dans les zones où les besoins étaient les plus faibles à plus de 60% où les besoins en irrigations sont les plus forts.

Tableau n° 2. Déficits de volumes d'eau d'irrigation apportés en janvier 2007 par rapport aux consommations optimisées en eau d'irrigation (COI) pendant la même période. Synthèse des valeurs moyennes pour trois dates de début de cycle (1 août, 1 octobre, 1 décembre 2006).

	COI sans coupure en m ³ /ha	Déficit d'irrigation m ³ /ha	Différence entre COI et irrigations avec coupure
Minimum	362	46	13%
Maximum	707	450	64%
Moyenne	647	297	45%

En faisant l'hypothèse que les coupures vont se poursuivre en février et en mars, et en prenant les pluies statistiques médianes de chaque micro-zone, on aboutit, fin mars, à un déficit mensuel moyen pour les trois mois présenté dans la figure 5. Ce déficit sur trois mois est un peu atténué pour les zones les plus sèches comme Pierrefonds, mais il reste très important (réduction de 50 %).

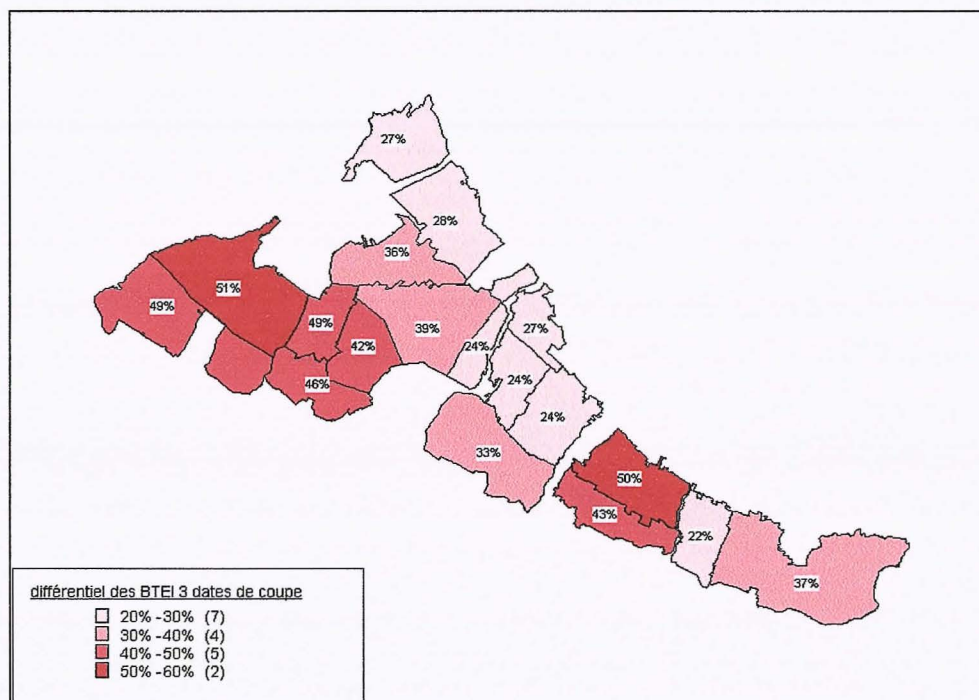


Figure 5. Déficients d'apport d'eau d'irrigation par micro-zone, en % par rapport aux besoins en irrigation sans coupure (COI) pendant les mois de janvier, février et mars 2007. Valeurs moyennes pour trois dates de début de cycle (1 août, 1 octobre, 1 décembre 2006).

Le taux de satisfaction des besoins en eau est défini ici comme le rapport entre l'évapotranspiration réelle (ETR) et l'évapotranspiration maximale en conditions hydriques optimales (ETM). Les déficits d'apport d'eau ont entraîné une réduction du taux de satisfaction des besoins en eau de la canne (Le Mézo et al. 2007).

En absence de coupure les rapports ETR/ETM sont toujours proches de 1. Dans le scénario avec coupures, les ETR/ETM sont en effet abaissés par rapport au scénario sans coupure, dans des proportions variables d'une micro-zone à l'autre. En fait, c'est toute la région de basse altitude autour de St Pierre qui est concernée (avec un ETR/ETM inférieur ou égal à 0.75 en moyenne sur trois mois).

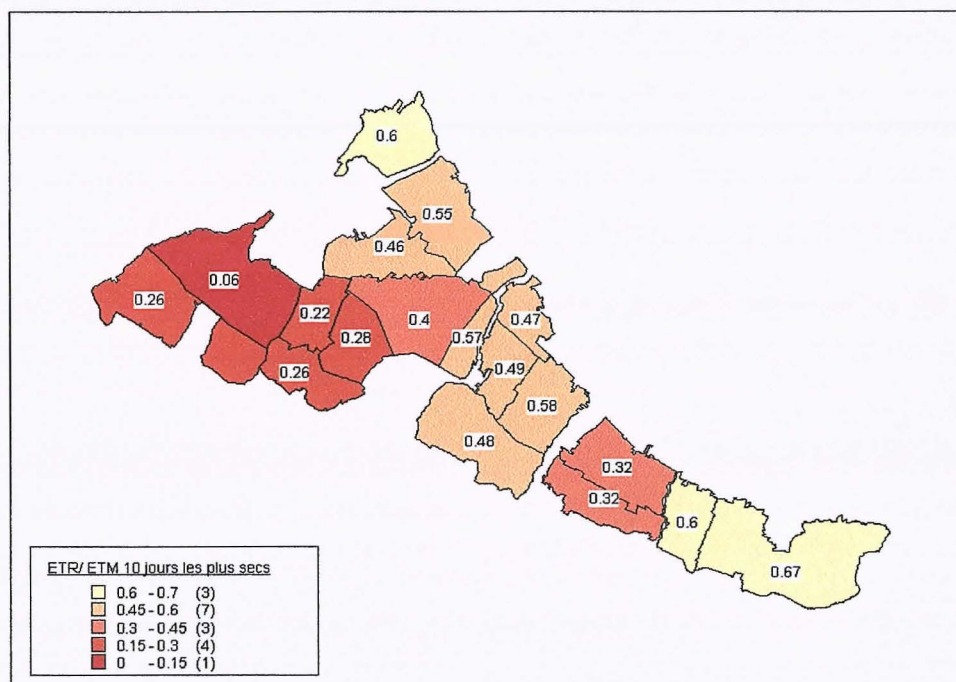


Figure 6. Cartographie des ETR/ETM prévisionnels pour le premier trimestre de 2007 avec les hypothèses de coupures retenues. Valeurs des ETR/ETM pour les 10 jours à ETR/ETM les plus bas (sur 90 jours). L'ETR/ETM peut varier de 1 (satisfaction maximale, à 0: arrêt de la transpiration, culture en train de sécher).

L'incidence du déficit hydrique sur la culture dépend fortement des périodes même courtes où le rapport ETR/ETM devient très bas arrêtant, ou au moins ralentissant fortement, les principaux processus physiologiques de la plante, en particulier la photosynthèse. C'est pourquoi, on a identifié, au cours des trois mois de janvier février et mars (90 jours), les 10 jours ayant les rapports ETR/ETM les plus bas (cf. fig. 6). Suivant ce critère, ce sont les zones de basse altitude qui sont les plus affectées par le stress hydrique avec un ETR/ETM moyen pendant 10 jours inférieur à 0.3, avec même, à Pierrefonds, une zone à moins de 0.1, ce qui peut être considéré comme sub-léthal.

L'utilisation de l'outil FIVE-CoRe a permis, de modéliser les dates et les doses des irrigations possibles, compte tenu des coupures. Ces informations ont servi à la mise en oeuvre de l'outil de modélisation Mosaic.

3. DISCUSSION CONCLUSION

Five-Core est un outil simple et facile d'utilisation mis au point pour répondre à des demandes des décideurs du développement agricole à la Réunion. La demande concernait principalement (i) la détection d'éventuelles surconsommations en eau par les agriculteurs du sud de la Réunion, (ii) les effets sur la culture d'arrêts momentanés dans la fourniture en eau d'irrigation suite à des problèmes.

L'outil a été mis au point et testé sur canne à sucre pour répondre à ces questions. Ainsi dans une première étude, sur 3 ans, de comparaison des consommations réelles CR et modélisées par FIVE-CoRe (Chopart et al.2006), les cumuls pour une campagne agricole des COI modélisées ont été en moyenne et en grande majorité proches des consommations réelles. Ceci montre l'aptitude du modèle à estimer les COI malgré sa simplicité conceptuelle et une variabilité de 1 à 3 des cumuls annuels des CR d'une micro-zone à l'autre. Cette bonne concordance observée entre les irrigations apportées par une majorité des agriculteurs et celles modélisées par FIVE- CoRe est une forme de validation du caractère opérationnel de l'outil.

Le modèle retenu ici a toutefois quelques limites liées à la volonté de disposer d'un outil simple avec des paramètres d'entrée facilement accessibles. Le ruissellement et les remontées capillaires ne sont pas modélisés par le modèle et donc supposés nuls. Si le ruissellement ne peut être négligé, il faut l'estimer par des mesures ou par une modélisation. Il suffit alors d'introduire, dans FIVE CoRe, la pluie diminuée du ruissellement. La non prise en compte des remontées capillaires n'est pas aussi pénalisante ici qu'en culture pluviale sèche, car les flux hydriques sont principalement descendants.

FIVE-CoRe peut être utilisé pour simuler les doses d'irrigation nécessaires compte tenu de contraintes techniques sous différents scénarios climatiques, différentes stratégies d'irrigations et pour des analyses de sensibilité. En effet, l'outil, par sa rapidité de calcul, permet une grande souplesse dans la multiplication des simulations. Actuellement testé avec succès sur canne à sucre, l'outil a été conçu pour fonctionner aussi sur différentes cultures et dans des exploitations irriguées en polyculture.

Cet outil est mis gratuitement à la disposition des chercheurs et des décideurs à condition que ces travaux entrent dans le cadre d'une collaboration ou au moins d'une information et de citer les sources.

LISTE DES SYMBOLES

a, β, γ, d	coefficients du polynôme d'Eagelman (eq.[7])
COI	Consommation optimisée en eau d'irrigation en m^3/ha
CR	Consommation réelle en m^3/ha
DH	débit d'eau disponible à l'entrée de la parcelle en m^3/h
DI	dose d'irrigation à apporter en mm
DR	pertes d'eau par drainage en dessous de ZRj, mm/j
DT	pertes d'eau par drainage en dessous de ZD, mm/j
DTE	durée du tour d'eau (intervalle entre 2 irrigations possibles), j
ETR	évapotranspiration réelle de la culture (ETR), mm
ETM	évapotranspiration maximale de la culture, mm
ETP	évaporation potentielle, mm
HR	humidité relative du sol (modèle PROBE, Eq.[8]), entre 0 et 1
I	irrigation unitaire (modèle PROBE), mm/j
IE	efficience de l'irrigation, %
j	jour
Kc	coefficient cultural, entre 0 et KC maximum
KS	coefficient d'évaporation du sol, entre 0 et 1
P	pluie unitaire par jour (modèle PROBE), mm/j
RU	réserve en eau utile du sol, mm par cm de sol
RUM	réserve maximale d'eau utile du sol entre la surface et ZD, mm
RUR	réserve maximale d'eau utile du sol entre la surface et ZR, mm
S	surface d'un secteur d'irrigation, m^2
SD	seuil de déclenchement de l'irrigation en % de la RUR
SR	eau utile dans la zone racinaire en début de journée (modèle PROBE), mm
ST	eau utile totale en début de journée (modèle PROBE), mm
TR	taux de remplissage par l'irrigation en % de la RUR
VR	vitesse de croissance du front racinaire, cm/j
ZD	profondeur de la cote de drainage, cm
ZHFj	profondeur du front d'humectation du sol, cm
ZR	profondeur du front racinaire, cm

REFERENCES

- Addiscott TM., Wagenet RJ. 1985. Concepts of solute leaching in soils: A review of modelling approaches. *J. Soil Sci.* **36**:41-424.
- Chopart JL., Koné D. 1994. Fluctuation de l'alimentation hydrique du maïs en centre Côte d'Ivoire. In: *Bilan hydrique et sécheresse en Afrique tropicale*. John Libbey Eurotext Ed. Paris: 39-47.
- Chopart JL., Siband P. 1988. PROBE : PRogramme de Bilan de l'Eau. Présentation du modèle PROBE. *Mémoires et travaux de l'IRAT n°17*. Montpellier: CIRAD edit.: 76p.
- Chopart JL., Vauclin M. 1990. Water balance estimation model: field test and sensitivity analysis. *Soil Science Soc. Am. J.* **54** (5):1377-1384.
- Chopart JL., Vauclin M., Nicou R. 1991. Le bilan hydrique: dilettantisme ou nécessité pour comprendre les relations milieu physique-culture en zone tropicale sèche? In: « *Soil Water Balance in the Sudano-Sahelian Zone* », IAHS public. n°199, Wallingford IAHS edit. (England):345-357.
- Chopart J.-L., Mézino M., Aure F., Le Mézo L., Mété M., 2005. Présentation et mode de fonctionnement d'OSIRI, outil de conseil en irrigation adapté à un environnement hétérogène et à de petits agriculteurs. Note scient CIRAD Réunion (France) 23 p..
- Chopart J.L. Mézino M., Aure F., Le Mézo L., Mété M Vauclin, M., 2007. OSIRI: a simple decision-making tool for monitoring irrigation of small farms in heterogeneous environments. *Agric. Water Manage.* **87**, 128-138.
- Chopart J-L Fusillier J-L. Le Mézo L. Mézino M. Richefort L. Cornu C. 2006. Variabilité des consommations en eau d'irrigation en culture de canne à sucre dans les périmètres du sud de La Réunion (Bras de la Plaine, Bras de Cilaos). Rôles des facteurs pédo-climatiques et des modes d'irrigation. Doc. scientifique CIRAD Réunion 96 p.
- Doorenbos J., Pruitt WO. 1977. Crop water requirements. *FAO irrigation and drainage paper n°24*. FAO Rome (Italy), 193 p.
- Le Mézo L. Mézino M. Chopart J.L, Bouvet L 2007. Impact des coupures d'eau de début 2007 dans le Bras de la Plaine sur l'alimentation hydrique de la canne à sucre.

Eléments pour une estimation des risques de baisse de production. doc scientifique
CIRAD Réunion., 18 p.